Jb. nass. Ver. Naturkde. **123** S. 149–166 9 Abb. Wiesbaden 2002

Hydrologisch relevante Geofaktoren im Wispergebiet unter Berücksichtigung der Witterung im Jahr 2001

BENEDIKT TOUSSAINT

Wasserhaushalt, Taunus, Wispergebiet, Geofaktoren, Klima, Witterung, oberirdisches Gewässer, Grundwasser, Ganglinien

Kurzfassung: Im Hinblick auf das oberirdische und unterirdische Abflussgeschehen sind Klimaelemente ein ganz wesentlicher steuernder Geofaktor. Ausgehend von der Erläuterung der Komponenten der Wasserhaushaltsgleichung wird am Beispiel des im westlichen Taunus gelegenen Einzugsgebietes der Wisper dargestellt, wie sich im Zusammenspiel mit anderen Geofaktoren wie insbesondere den geologischen Verhältnissen die Witterung des Jahres 2001 auf den Wasserstand der Wisper am Pegel Lorch-Pfaffental und auf den Grundwasserspiegelgang an ausgewählten Grundwassermessstellen auswirkte.

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung

Im Aufsatz von WOLFGANG EHMKE über die Witterung des Jahres 2001 (siehe S. 142f.) ist dokumentiert, dass dieses Jahr im Taunus gekennzeichnet ist durch überdurchschnittliche Niederschläge (plus 15 bis 25 % gegenüber dem langjährigen Mittel) und auch durch um ca. 1 °C höhere Temperaturen als sonst üblich. Es ist daher auch zu erwarten, dass sich die spezifischen Witterungsverhältnisse auch in der Wasserführung der Bäche im Taunus und ebenfalls im Hinblick auf die Grundwasserstände signifikant bemerkbar machen.

Im vorliegenden Beitrag sollen die Zusammenhänge zwischen Witterung, wobei insbesondere dem Niederschlag Bedeutung zukommt, und Hydrologie beleuchtet werden. Unter „Hydrologie" soll hier die quantitative Gewässerkunde verstanden werden, insbesondere die Charakterisierung des Abflussgeschehens in ei-

nem Flusseinzugsgebiet. Am Beispiel der 28 km langen Wisper, einem im westlichen Taunus gelegenen kleinen Fluss, der von rechts kommend bei Lorch in den Mittelrhein mündet und ein 209 km^2 großes Einzugsgebiet hat, soll aber auch aufgezeigt werden, dass weitere Geofaktoren wie insbesondere die geologischen Verhältnisse und von diesen wiederum abhängige Parameter in komplexer Wechselbeziehung mit Klimaelementen eine große Rolle spielen.

2 Die Wasserhaushaltsgleichung und ihre Bedeutung für die Hydrologie

In der für kürzere Zeiträume geltenden Wasserhaushaltsgleichung

$$N = V + A \pm S$$

ist der Niederschlag N die Einnahmegröße der Bilanz. Es wird jedoch nicht der gesamte Niederschlag, der in fester und überwiegend in flüssiger Form anfällt, hydrologisch wirksam, sondern nur der Teil, der nicht von der Verdunstung V aufgezehrt wird. Die Restglieder der vorstehenden Gleichung sind der Abfluss A und die ober- und unterirdische Speicherung S, die nur im Falle eines langjährigen Zeitraums (die Hydrologen (Gewässerkundler) sprechen von etwa 30 Jahren) gegen Null geht und somit vernachlässigbar ist. Für kürzere Zeiträume ist die Speicherung mit positivem (Rücklage) oder negativem Vorzeichen (Aufbrauch) jedoch zu berücksichtigen.

Die von der Temperatur abhängige Verdunstung V lässt sich gemäß Gleichung

$$V = E + T + I$$

in Evaporation E (Verdunstung von Wasseroberflächen oder feuchten Landoberflächen), Transpiration T (Pflanzenverdunstung) und Interzeption I (Evaporation des Anteils des Niederschlags, der auf Pflanzenoberflächen kurzfristig gespeichert wird) differenzieren, wobei E und T als Evapotranspiration ET zusammengefasst werden, die als Gebietsverdunstung interpretiert wird. In die Wasserbilanz geht die Verdunstung als Verlustgröße ein, die sich auf die in verschiedenen Formen auftretende gesamte Wasserabgabe in gasförmigem Zustand (Wasserdampf) an die Atmosphäre bezieht.

Im Zusammenhang mit der Themenstellung ist nicht die potentielle Verdunstung, die bei einer bestimmten Temperatur aus physikalischen Gründen theoretisch möglich ist, maßgebend, sondern die aktuelle (reelle) Verdunstung, deren Höhe außer von den gegebenen meteorologischen Bedingungen auch von dem jeweils verfügbaren Wasser bestimmt wird.

Im Gegensatz zu den Größen Niederschlag und Abfluss ist die Gesamtverdunstung über Land- und Wasseroberflächen sehr schwierig zu erfassen, da sie nicht direkt messbar ist. Daher werden in der Regel indirekte theoretische, empirische und halbempirische Verfahren angewandt, um zumindest eine Abschätzung zu ermöglichen. Im Rahmen dieses Beitrags kann allerdings auf diese Problematik nicht näher eingegangen werden.

Da die Höhe der aktuellen Verdunstung im Gegensatz zur Niederschlags- und Abflusshöhe über die Jahre relativ wenig schwankt, wird für den Taunus eine Größenordnung von 450 – 500 mm/a angesetzt; erfahrungsgemäß entfallen davon rd. 80 % der Gesamtverdunstung auf das Sommerhalbjahr. Kennt man die Höhe des langjährigen Niederschlags in einem bestimmten Gebiet, ist aus der Differenz der beiden Bilanzgrößen der langjährige Abfluss abzuleiten.

Der Abflussanteil des nicht verdunsteten und gespeicherten Niederschlags lässt sich nach der Gleichung

$$A = A_o + A_u$$

in einen oberirdischen Abfluss in den Fließgewässern (A_o) und einen unterirdischen Abfluss im Grundwasserleiter (A_u) aufteilen. Der in den Vorflutern an gewählten Messquerschnitten aus Wasserstandsmessungen (die Messlatte ist der eigentliche Pegel) über eine bestimmte Relation (Bezugskurve Wasserstand – H / Abfluss - Q) abgeleitete Abfluss ist nur im Falle mehr oder weniger tief eingeschnittener Täler der Abfluss des jeweiligen Einzugsgebietes. Der unterirdische Abflussanteil, der nicht an einem bestimmten Pegel gemessen wird, da die Gewässersohle zumindest zeitweilig unterströmt wird, sondern ggf. an einem Pegel eines übergeordneten oberirdischen Gewässers (oder der dem Meer direkt zufließt), wird A_{gw} genannt (gw steht für Grundwasser).

Der Gesamtabfluss und die Größe der verschiedenen Abflusskomponenten ist in erster Linie von der Charakteristik des Niederschlags und der Verdunstung (Höhe, Art, Dauer, zeitliche Verteilung) abhängig. Eine ganz entscheidende Rolle spielen aber auch Form, Lage und Exposition des Einzugsgebietes eines Gewässers, dessen Oberflächenrelief, Böden und Vegetation sowie in besonderem Maße dessen geologische bzw. hydrogeologische Verhältnisse. Außerdem greift auch der Mensch mit seinen Aktivitäten in das Abflussgeschehen ein, häufig genug zu seinem Nachteil.

Starke, in kurzer Zeit fallende Niederschläge, ein steiles Relief, spärliche Vegetation, wenig durchlässige Böden und das Grundwasser überlagernde bindige Deckschichten sowie eine natürliche (z.B. durch Eis) oder anthropogene Versiegelung (z.B. durch Bebauung) der Geländeoberfläche begünstigen den Abfluss an der Geländeoberfläche (Oberflächenabfluss) oder in den Schichten oberhalb der Grundwasseroberfläche (Zwischenabfluss). Wenn somit der Untergrund als puffernder Speicher nur teilweise zum Tragen kommt, bedeutet dies, dass einige Tage mit Starkregen bereits genügen können, um Bäche und Flüsse nach kurzer Zeit über die Ufer treten zu lassen. Für die Gewässer des Taunus mit seinen weitverbreiteten Tonschiefern aus dem Devon, die eine Absickerung größerer Mengen von Niederschlagswasser in den tieferen Untergrund bzw. in das Grundwasser behindern, sind starke Wasserstands- bzw. Abflussschwankungen typisch. Das gilt im besonderen Maße für das tief eingeschnittene Einzugsgebiet der Wisper (Abbildung 1), für das daher stellvertretend das komplexe Zusammenspiel aller hydrologisch relevanten Faktoren dargestellt werden soll. Das Gebiet wird durch die TK 25 5813 Nastätten, 5814 Bad Schwalbach, 5913 Presberg und 5914 Eltville a. Rh. abgedeckt.

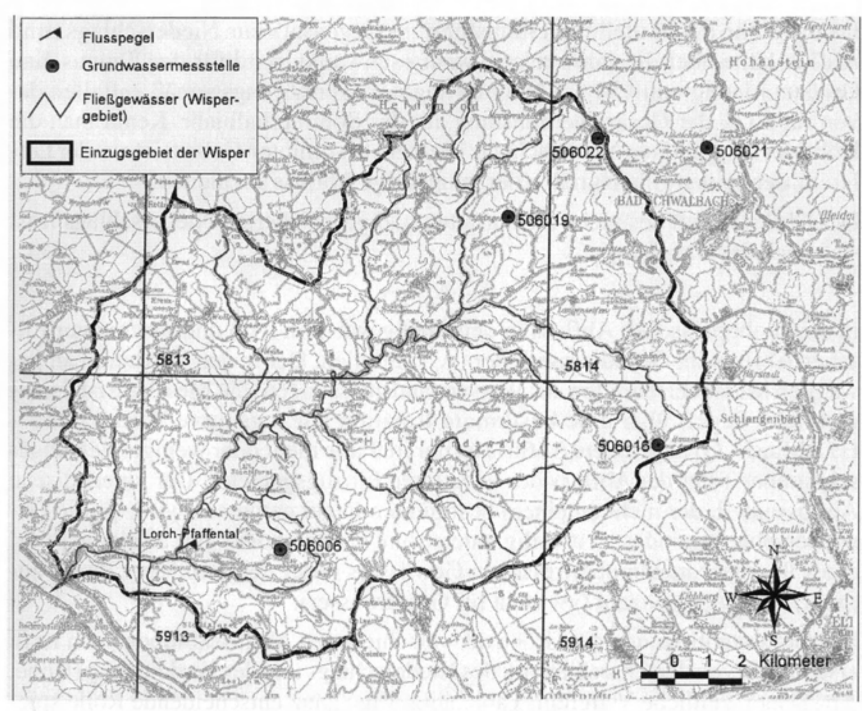


Abbildung 1: Einzugsgebiet der Wisper mit größeren Wisper-Nebenflüssen; lagegerecht eingetragen sind die Standorte des Pegels Lorch-Paffental und ausgewählter Messstellen des hessischen Landesgrundwasserdienstes

3 Charakterisierung der abflusswirksamen Geofaktoren

Um den Prozess des aus Niederschlägen resultierenden Abflusses zu verstehen, müssen alle Faktoren, die steuernden Einfluss auf den ober- und unterirdischen Abfluss haben, erkannt und verstanden werden.

Die wichtigste Einflussgröße ist das atlantisch getönte Klima, insbesondere dessen Witterungselemente *Niederschlag* und *Lufttemperatur*. Da das Wispergebiet im Regenschatten des Soonwalds liegt, beträgt der langjährige Gebietsniederschlag nur knapp 710 mm/a (HLUG-Unterlagen, Jahre 1961-1998). Durchschnittlich abflusswirksam dürften etwa 260 bis höchstens 300 mm/a sein. Da von einer aus dem langjährigen grundwasserbürtigen Niedrigwasserabfluss abgeleiteten Grundwasserneubildung in Höhe von 60 - 70 mm/a ausgegangen werden kann (TOUSSAINT & SALAY 1979), hätte der oberirdische Abfluss demnach eine Größenordnung von 190 - 230 mm/a. In den höheren Lagen fallen 15 - 20 % der Niederschläge als Schnee, der an etwa 60 Tagen als geschlossene Decke liegen bleibt. Da das Wispertal generell NE – SW-orientiert ist, wird das Einströmen

feuchter Luftmassen aus der Hauptwindrichtung begünstigt, was sich im überdurchschnittlich nassen Berichtszeitraum 2001 (Kalenderjahr*) mit Niederschlägen von fast 900 mm in den höheren Bereichen besonders bemerkbar machte (Abbildung 2). Wenn man unterstellt, dass im Wispergebiet in den höheren Luvlagen die Jahresniederschlagssumme pro 100 Höhenmeter um jeweils etwa 135 mm zunimmt, wurden im Berichtszeitraum im Bereich der Wasserscheide 1000 mm überschritten.

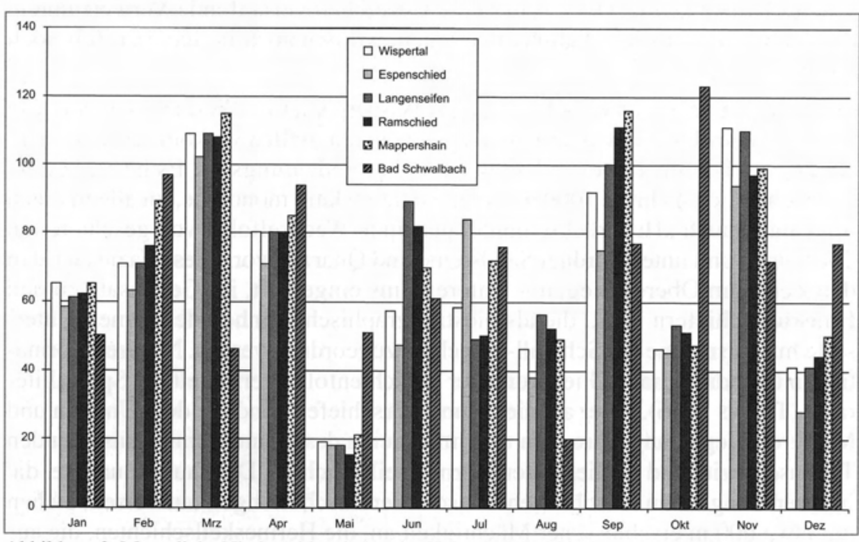


Abbildung 2: Monatliche Niederschlagshöhen im Kalenderjahr 2001 an ausgesuchten Stationen

Die im Jahr 2001 ebenfalls höheren Temperaturen als sonst üblich hatten im Winterhalbjahr zur Folge, dass der in den Monaten Januar, Februar, November und Dezember an einigen wenigen Tagen in Form von Schnee gefallene Niederschlag nach kurzer Speicherung an der Erdoberfläche zeitverschoben und wegen der vernachlässigbaren Verdunstung des festen Wassers hydrologisch besonders intensiv wirksam wurde. Im Hinblick auf die Wasserführung von oberirdischen Gewässern ist insbesondere bei noch gefrorenem Untergrund eine Tauwetterphase mit Starkregen zu vergleichen, da der Abfluss fast vollständig an der Erdoberfläche erfolgt.

Eine hochrangige Bedeutung für den Abfluss hat weiterhin die Geologie, insbesondere die Ausbildung und Mächtigkeit der *Deckschichten*, die Typologie der aus ihnen im Zusammenwirken mit dem Klima und der Vegetation hervorgegangenen *Böden* und das Vorhandensein von Gesteinskörpern, die die Eigenschaft von *Grundwasserleitern, -geringleitern* und ggf. *-nichtleitern* haben.

* Um den Leser nicht zu verwirren, wurden alle Werte auf das Kalenderjahr 2001, nicht auf das den Gewässerkundlern geläufige hydrologische Jahr November 2000 – Oktober 2001 umgerechnet.

Das Wispergebiet ist Teil des Rhenoherzynikums, das dem Variszikum angehört. Wie überall im Rheinischen Schiefergebirge wurde auch im Taunus die Gesteinsfolge zu Beginn des Unterkarbons in SW – NE-gerichtete Faltenzüge gelegt, die an Auf- und Abschiebungen stark zerschuppt sind. Der Taunuskamm ist als gefalteter Schuppenstapel über einer basalen Abscherung im Bereich der dem Gedinne angehörenden Bunten Schiefer (außerhalb des Wispergebietes im Hochtaunus anzutreffen), die am Taunus-Südrand mindestens 30 km beträgt, anzusehen (THEWS 1996). Quer zum Schichtstreichen verlaufende Verwerfungen, die den Gebirgsstock in Schollen zerlegen, wurden auch in jüngerer Zeit noch bewegt.

Die präquartäre Schichtenfolge wird im Wispergebiet im Wesentlichen nur von Gesteinen des Unterdevons vertreten, an wenigen Stellen vorkommende tertiäre Basalte und deren Tuffe sind demgegenüber bedeutungslos. Es herrscht eine wahrscheinlich mehrere 1000 m mächtige und relativ monotone, im allgemeinen Sprachgebrauch „Hunsrückschiefer" genannte Wechselfolge von geschieferten Tonsteinen und untergeordnet Sandsteine und Quarzite vor. Diese Fazies wird in den Zeitraum Oberes Siegen – Unteres Ems eingestuft, im Gegensatz zu den Hunsrückschiefern i.e.S., die als biostratigraphische Einheit der Ulmen-Unterstufe mit Ausnahme der Schwall-Schichten zugeordnet werden. Nähere Informationen über die genaue Gliederung der Schichtenfolge vermittelt die Spezialliteratur (THEWS 1996). Älter als die „Hunsrückschiefer" sind die dem Unteren und Mittleren Siegen angehörenden und im Bereich des Taunuskamms anstehenden Taunusquarzite und die liegenden Hermeskeilschichten. Die Taunusquarzite, die in ihren hangenden Abschnitten Tonschiefereinschaltungen aufweisen, stehen mit etwa 600 m erschlossener Mächtigkeit an, die Hermeskeilschichten, die aus Sandsteinen und zurücktretend aus Quarziten und Tonschiefern bestehen, mit ca. 30-100 m.

Hydrogeologisch sind die im Wispergebiet dominierenden „Hunsrückschiefer" trotz ihrer tonig-schluffigen Ausbildung keineswegs immer als Grundwassernicht- oder -geringleiter anzusehen, da sie infolge tektonischer Beanspruchung intensiv zerschert sind. Wegen ihrer weitgehend plastischen Deformation sind aber nur selten offene Klüfte vorhanden, was den oberirdischen Abfluss begünstigt. Quellen als natürliche Grundwasseraustritte sind zwar zahlreich, sie schütten aber nur wenig, außerdem ist die Schüttung starken Schwankungen unterworfen, da der oberflächennah liegende unterirdische Speicher nur gering dimensioniert ist. Das gilt überwiegend auch für den in tieferen Grundwassermessstellen registrierten Grundwasserspiegelgang (siehe Abschn. 4.2), da offene, im Wesentlichen als Dehnungsfugen zu interpretierende Klüfte, auf denen die unterirdische Wasserzirkulation bevorzugt stattfindet, weitestgehend auf die 20- 40 mächtige Verwitterungszone beschränkt sind und ein weit verzweigtes kommunizierendes Kluftsystem nicht existiert.

Anders ist die hydrogeologische Situation im Falle der Taunusquarzite und Hermeskeilschichten, die aufgrund ihrer Materialeigenschaften mit Zerbrechen auf

die tektonischen Spannungen reagiert haben und daher verhältnismäßig gut wasserwegsam sind. Wo diese Gesteine anstehen, sind wenige, dafür aber stärker schüttende Quellen vorhanden, weil das Niederschlagswasser rasch in den zahlreichen offenen Klüften versickern kann. Das rasche Absickern in den Untergrund bedeutet aber auch, dass die Quellschüttung und der Grundwasserspiegelgang relativ starken Schwankungen unterworfen sein können.

Im Bereich des quarzitischen Blockschutts kann es zur vollständigen Versickerung des Niederschlagswassers bzw. der oberirdischen Gewässer kommen, so dass die Gewässerdichte hier nur 0,4 km/km^2 beträgt. Demgegenüber dokumentiert sich in der Gewässerdichte von 1,3 km/km^2 im Bereich der „Hunsrückschiefer" die verstärkte Verlehmung der verwitterten geschieferten Tonsteine. Dabei handelt es sich einerseits um tertiäre Verwitterungsprodukte in situ, die u.U. 10 m und mehr mächtig sein können und „Faulfels" genannt werden, und andererseits um im Quartär entstandene Fließerden, Hangschutt u.a. Auch Lösslehme können eine Rolle spielen. Auf diesem Substrat haben sich meist flachgründige Böden entwickelt, wobei Parabraunerden verschiedenen Entwicklungsgrades, die z.T. podsolig sind, bei weitem vorherrschen.

Die hangparallele Anordnung der Schuttlagen ist ebenso wie z.T. auch die Schichtung oder Schieferung der liegenden kompakten Gesteine verantwortlich für die Entstehung des Zwischenabflusses. Dieser tritt in die oberirdischen Gewässer über, ohne die Grundwasseroberfläche erreicht zu haben. Eine Absickerung von Niederschlagswasser in den tieferen Untergrund muss also nicht unbedingt bedeuten, dass dieses Wasser dem Grundwasser zugute kommt, vielmehr wird der oberirdische Abfluss begünstigt.

Die Morphologie, die im Wesentlichen das Ergebnis des Zusammenspiels von Gesteinsbestand, Tektonik und Klima ist, wirkt sich ebenfalls signifikant auf den Abfluss aus. *Geographische Länge und Breite, Geländehöhe* und *Exposition* beeinflussen ihn zunächst über die meteorologischen Parameter, da die Niederschlagshöhe und die Wahrscheinlichkeit von Schneefällen mit der Höhe ansteigen, auf der Luvseite stärker als auf der Leeseite. Das *Relief* hat einen großen Einfluss darauf, ob und welcher Anteil des Niederschlags einem oberirdischen Gewässer oder dem Grundwasser zugute kommt. Mit zunehmender Versteilung der Hänge wächst der Anteil des Niederschlagswassers, der direkt in ein oberirdisches Gewässer übertritt. Schließlich spielt auch die *Geometrie* des Talverlaufs eine Rolle in Bezug auf den Abfluss, insbesondere auf den oberirdischen Abfluss. Bei Tälern, die mehr oder weniger senkrecht zu der den meisten Regen bringenden Windrichtung eingetieft und zusätzlich noch stark gegliedert sind, wirken sich Hochwasser verursachende Starkregen weniger negativ aus als bei Tälern, die parallel zu Regenstraßen orientiert sind und einen mehr gestreckten Verlauf haben. Zur letzten Kategorie gehört das Wispertal. In den 70er- und Anfang der 80er-Jahren wurde, ziemlich kontrovers, über eine multifunktionale Talsperre im Ernstbachtal, einem Nebenbach der Wisper, nachgedacht, die auch die Aufgabe gehabt hätte, vor Hochwässern zu schützen.

Wegen der auch heute noch nicht völlig abgeschlossenen Heraushebung des Rheinischen Schiefergebirges besonders im Alt- und Mittelpleistozän musste sich der Rhein cañonartig einschneiden, um Anschluss an die Nordsee als Erosionsbasis halten zu können. Als Nebenfluss des Rheins musste sich auch die Wisper mit den ihr tributären Bächen in Kerbtälern in die Nordabdachung des Taunus, die zwischen 300 und 500 m ü. NN liegt, eintiefen. Zwischen der Mündung in den Rhein in 73 m ü. NN und der Kalten Herberge, die als höchste Erhebung bis 619 m ü. NN aufragt, besteht auf nur 28 km Lauflänge eine maximale Reliefenergie von 546 m. Da fast 30 % der Flächen Neigungen über 20° haben und selbst Geländeversteilungen von über 40° häufig sind, wird der Abfluss an der Geländeoberfläche begünstigt.

Nicht zuletzt ist auch die Bodennutzung ein wichtiger Faktor, der das Abflussgeschehen erheblich beeinflussen kann. Das gilt sowohl für die natürliche und die vom Menschen seit Jahrhunderten beeinflusste *Vegetation* als auch für *anthropogene Aktivitäten*, die sich auf die Landoberfläche auswirken. Wald, der im Wispergebiet etwa 85 % der Fläche einnimmt, weist eine wesentlich höhere aktuelle Verdunstung auf als Acker und Grünland oder gar unbewachsener Boden. Dadurch wird einerseits der ober- und unterirdische Abfluss im Vergleich zu Freilandflächen zwar reduziert, andererseits verringert sich aber auch die Gefahr von schädlichen Hochwässern, zumal ein Waldökosystem dafür sorgt, dass der Abfluss an der Geländeoberfläche während und nach einem Starkregenereignis oder während der Schneeschmelze zeitlich gestreckt wird.

Knapp 2 % der Fläche des Betrachtungsgebietes entfallen auf geschlossene Siedlungen. Das bedeutet u.a. auch eine teilweise Versiegelung des Bodens und ein Ableiten des Niederschlagswassers über die Kanalisation. Über versiegelten Flächen wird Niederschlagswasser einem oberirdischen Gewässer entweder unmittelbar zugeführt oder flussabwärts über eine Kläranlage oder ein Regenüberlaufbauwerk. Beides hat eine Verstärkung des oberirdischen Abflusses zu Lasten des Grundwassers zur Folge, bedeutet aber im Wispertal nur unbedeutende Beeinflussung des natürlichen Abflussgeschehens.

4 Die hydrologischen Verhältnisse 2001 im Wispergebiet

Alle im Abschn. 3 genannten Geofaktoren beeinflussen maßgeblich den Wasserhaushalt und somit den oberirdischen und unterirdischen Abfluss im Wispergebiet. Deswegen ist es sinnvoll, beide Komponenten des Abflusses vergleichend zu analysieren, um Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede zu erkennen und den maßgebenden Ursachen zuordnen zu können.

Den Analysen liegen keine Abflüsse im eigentlichen Sinn zugrunde, sondern jeweils Ganglinien des Wasserstandes, d.h. Diagramme, in denen der Wasserstand in einem oberirdischen Gewässer oder in einer Grundwassermessstelle über der Zeitachse aufgetragen ist. Der Grund dafür ist weniger, dass die Wasserstände der Wisper zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrages noch nicht in Abflüsse um-

gerechnet waren, sondern weil von Grundwassermessstellen die resultierenden Messwerte grundsätzlich nur als Wasserstände vorliegen. Im Falle von Porengrundwasserleitern könnte aus Grundwasserständen der Abfluss mittels weiterer Größen wie kf-Wert, nutzbare Porosität und Gefälle des Grundwasserspiegels zumindest abgeschätzt werden, bei den Kluftgrundwasserleitern des Wispergebietes ist diese Vorgehensweise jedoch nicht möglich bzw. fachlich nicht vertretbar. Aus diesem Grunde geht die Analyse der hydrologischen Verhältnisse im Jahr 2001 einheitlich von der Interpretation von Wasserstandsganglinien aus, zumal diese die Charakteristik des Abflussgeschehens wesentlich exakter widerspiegeln als Abflussdaten, die unter Zugrundelegung von mehr oder weniger plausiblen Annahmen aus Wasserständen abgeleitet werden.

Es ist zu beachten, dass die Wasserstandsganglinien eines Pegels und von Grundwassermessstellen eine unterschiedliche Wertigkeit haben. Im Falle eines Pegels sind die hydrologischen Daten als ein Integral über die gesamte Fläche des angeschlossenen Einzugsgebietes zu verstehen, während auf Grundwassermessstellen bezogene Daten lediglich Punktinformationen liefern, die nur für das nähere Messstellenumfeld gelten. Diese Einschränkung ist aus geohydraulischen Gründen insbesondere im Hinblick auf Gebiete mit anstehenden Festgesteinen (Kluftgrundwasserleiter) zu machen, weniger für Lockergesteine (Porengrundwasserleiter).

4.1 Analyse der Wasserstandsganglinie der Wisper am Pegel Lorch-Pfaffental

Die östlich Mappershain bei Bad Schwalbach entspringende und bei Lorch in den Rhein mündende Wisper weist an der Mündung ein Einzugsgebiet von etwa 209 km^2 auf. Dieses liegt weit überwiegend in Hessen, nur ein kleiner Teil im NW in Rheinland-Pfalz. Die hydrologischen Daten beziehen sich auf den seit November 1960 existierenden Pegel Lorch-Pfaffental (Abbildung 3), der sich auf der linken Flussseite kurz oberhalb der Einmündung des Grolochbaches und in einem Abstand von rd. 4,7 km von seiner Mündung in den Rhein befindet (R 341760/H 554686), das zugehörige oberirdische Einzugsgebiet beträgt rd. 171 km^2. Sein Pegel-Null, auf den sich sämtliche Wasserstandsangaben beziehen, ist 102,10 m ü. NN. Der Pegel Lorch-Pfaffental ist einer von 112 landeseigenen Pegeln der hessischen Wasserwirtschaftsverwaltung.

Im Falle des mit einer Seilkrananlage ausgestatteten Wisper-Pegels Lorch-Pfaffental werden die kontinuierlich erfassten Wasserstände sowohl analog (mittels Schreibrolle, die durch ein Uhrwerk bewegt wird) als auch digital (Datensammler) registriert, Messwertgeber ist ein Schwimmer mit Gegengewicht. Die der hydrologischen Analyse zugrunde liegende Wasserstandsganglinie (Abbildung 4) basiert auf Tagesmittelwerten, die mittels des Programms HYDRAS 3 ausgewertet worden sind.

Abbildung 3: Der Wisper-Pegel Lorch-Pfaffental, Photo aufgenommen am 1. Juli 2002.

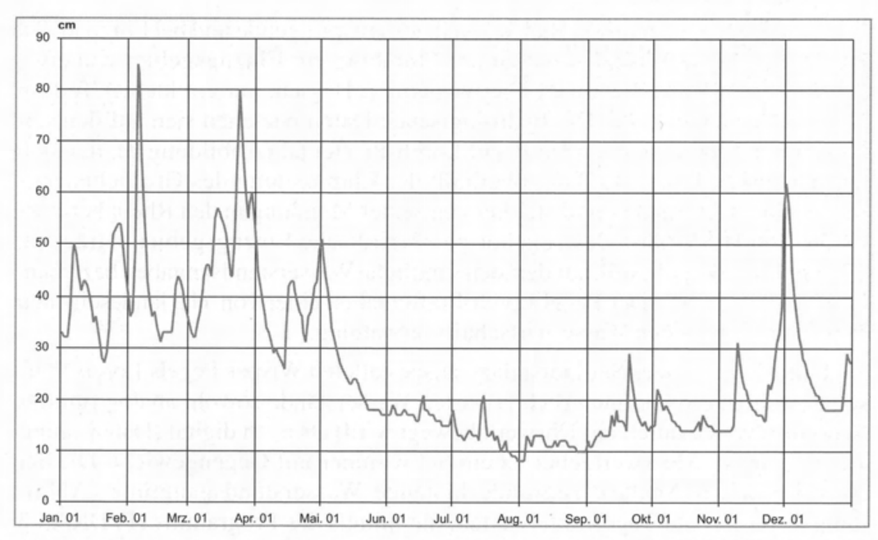


Abbildung 4: Wasserstandsganglinie der Wisper am Pegel Lorch-Pfaffental, basierend auf noch nicht abschließend überprüften Tagesmittelwerten des Kalenderjahres 2001

Die Ganglinie hat einen Verlauf, der für das generelle mitteleuropäische Klima typisch ist, nämlich Hochstände im Winterhalbjahr und Tiefstände in Sommermonaten, gleichzeitig spiegeln sich aber auch witterungsbedingte Besonderheiten des Jahres 2001 wider.

Charakteristisch sind hohe winterliche Wasserstände in den Monaten Januar bis März mit Tagesmittelwerten bis zu 85 cm bzw. diskret erfasste maximale Wasserstände bis zu 92 cm (am 5.2.2001), was einem Abfluss HQ von rd. 16 m^3/s entspricht. Im vergangenen Jahrzehnt waren nur Abflüsse im Dezember 1993 mit mehr als 20 m^3/s höher als im Jahr 2001. Auf die Hochstände erfolgt ein gelegentlich von kleinen Abflussspitzen unterbrochenes generelles Absinken des Wasserstandes bis Ende Juli/Anfang August auf einen Tiefstwert von 8 cm, der einem Abfluss von nur noch 5 l/s entspricht (am 31.7./3.8.2001). Dieser so genannte NQ-Wert (niedrigster Abfluss eines Jahres) wurde in den vorausgegangenen Jahren immer wieder registriert. Der kleinste NQ-Wert (NNQ) von 3 l/s ist an einen Wasserstand von 7 cm gebunden, der im letzten Jahrzehnt allerdings nur einmal gemessen worden ist. Seit Anfang August steigt der Wasserspiegel bis Anfang November zunächst langsam wieder an. Es folgen dann wieder kurzzeitige Hochstände im November und speziell im Dezember bis 62 cm (Tagesmittel) bzw. bis 65 cm (diskreter Einzelwert).

Hydrologisch interpretiert bedeutet dieser Ganglinienverlauf, dass in den Wintermonaten zu Beginn des Jahres 2001 viel Wasser in die Wisper eingespeist worden ist, resultierend aus Niederschlägen, die unmittelbar in das Gewässer gefallen sind (vernachlässigbarer Effekt), aus Abfluss von der Geländeoberfläche, aus dem Zwischenabfluss, dem in unseren Klimaregionen und im Falle der speziellen geologischen Verhältnisse im Taunus generell eine größere Bedeutung zukommt als dem Oberflächenabfluss, und aus dem Grundwasserzufluss. Mehrtägige Dauerregen im ersten Drittel des Monats Januar 2001 und Tauwetter im letzten Drittel ließen die Wasserstände der Wisper am Pegel Lorch-Pfaffental ansteigen. Anfang Februar fiel Schnee, das kurz darauf einsetzende Tauwetter ließ den Fluss auf den höchsten Stand des Jahres 2001 ansteigen. Eine längere Phase ohne wesentliche Niederschläge führte zu einem steilen Abfall der Ganglinie, bis im niederschlagsreichsten Monat des Bezugsjahres, nämlich im März, ergiebige Dauerregen vor allem im letzten Drittel erneut Hochstände zur Folge hatten.

Da es im April wenig regnete und das erste und letzte Drittel des Monats Mai trocken waren, fiel die Ganglinie sehr rasch ab. Das ist für diese Jahreszeit typisch, da in den Sommermonaten, wenn die Verdunstung (vor allem die Transpiration) höher ist als der Niederschlag, der Abfluss in einem oberirdischen Gewässer wie der Wisper mehr oder weniger grundwasserbürtig (abgesehen von Kläranlageneinleitungen) ist, der Grundwasserspeicher selbst entleert sich wegen fehlender Grundwasserneubildung immer mehr. Üblicherweise werden die niedrigsten Wasserstände und somit die kleinsten Abflüsse in einem oberirdischen Gewässer erst Ende Oktober/Anfang November registriert, d.h. solange wie die Verdunstung höher ist als der Niederschlag und/oder Speicher an der Erdoberfläche und im Untergrund aufgefüllt werden müssen. Der Ganglinienverlauf zeigt

aber, dass im Jahr 2001 die Witterungsverhältnisse anders waren als im Durchschnittsjahr. Der Anstieg ab August geht darauf zurück, dass die monatlichen Niederschläge höher waren als normal. Der auffällige Peak im September geht auf mehrere Starkregenereignisse (speziell am 20.9.2001) zurück, üblicherweise ist dieser Herbstmonat ziemlich trocken. Ab Oktober/November stiegen die Wasserstände mit zurückgehender Verdunstung wieder an, insbesondere im Zusammenhang mit ergiebigen Regenfällen. Der erste Schneefall im ersten Drittel des Monats November mit anschließender Schneeschmelze und vor allem starke Regenfälle gegen Ende dieses Monats machen sich daher im Ganglinienverlauf bemerkbar und ebenso eine Tauwetterperiode im letzten Drittel des Monats Dezember.

Die geringe Pufferwirkung des Untergrundes, die vor allem in den geologischen Verhältnissen begründet ist, äußert sich darin, dass sich Niederschlagsereignisse kaum zeitversetzt auf das Abflussgeschehen der Wisper auswirken. Noch gravierender ist das Verhältnis NQ/HQ, das innerhalb des Jahres 2001 etwa 1:3200 beträgt und wirklich extrem ist. Das bedeutet auch, dass die Wisper unberechenbar sein kann und wegen der außerordentlich schwankenden Wasserführung im Hinblick auf wasserbauliche Maßnahmen schwer beherrschbar ist.

4.2 Analyse der Wasserstandsganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen

Es wurden fünf Grundwassermessstellen des hessischen Landesgrundwasserdienstes ausgesucht, an denen im Wochenturnus die Wasserstände von Hand (Brunnenpfeife, Kabellichtlot) erfasst werden (TOUSSAINT 2001). Bei den Grundwassermessstellen handelt es sich um die im Einzugsgebiet der Wisper gelegenen Messstellen 506006 Presberg (R 342061, H 554687), 506016 Hausen v. d. H. (R 343176/H 554998), 506019 Springen (R 342732/H 555676) und 506022 Kemel (R 342996/H 555906). Die Messstelle 506006 befindet sich in rd. 390 m ü. NN im Einzugsgebiet des der Wisper tributären Grolochbaches und liegt dem Pegel Lorch-Pfaffental am nächsten. Die drei anderen Messstellen im Wispergebiet, nämlich 506016, 506019 und 506022, liegen am E-Rand des Einzugsgebietes in Höhen zwischen rd. 440 m ü. NN und 520 m ü. NN. Um Unterschiede im Vergleich zu einem benachbarten Einzugsgebiet aufzuzeigen, wurde außerdem die östlich der Wasserscheide im Aartal befindliche Messstelle 506021 Lindschied (R 343319/H 555878) ausgewählt. In allen Fällen handelt es sich um Schachtbrunnen mit Tiefen zwischen 5,65 m und 20,00 m.

Übereinstimmend weisen alle Ganglinien (Abbildungen 5 - 9) Hochstände bis Ende April/Anfang Mai 2001 auf, danach erfolgt ein Abfall, Anfang September steigen die Grundwasserstände wieder an. Ein Ganglinienverlauf mit in den Wintermonaten hohen und in den Sommermonaten niedrigen Grundwasserständen ist charakteristisch für unser Klima. Da die Gebietsverdunstung im Sommer wegen der hohen Lufttemperaturen und der pflanzlichen Transpiration generell in Deutschland im Mittel rd. 80 % der Jahressumme ausmacht, findet in der Regel ein Input in einen Grundwasserleiter in Form der Grundwasserneubildung im We-

sentlichen nur im hydrologischen Winterhalbjahr statt, das die Monate Oktober bis April des nachfolgenden Jahres umfasst. Es gibt aber auch Ausnahmen von dieser Regel, besonders ergiebige und länger anhaltende Niederschläge kommen auch in Sommermonaten oder im Frühherbst dem Grundwasser zugute, dessen Vorräte aufgefüllt werden.

Im Detail weisen alle Grundwasserganglinien der ausgewählten Messstellen z.T. erhebliche Abweichungen von diesem Grundmuster auf, die es zu analysieren gilt und deren Ursachen in erster Linie in den lokal z.T. sehr unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnissen begründet sind.

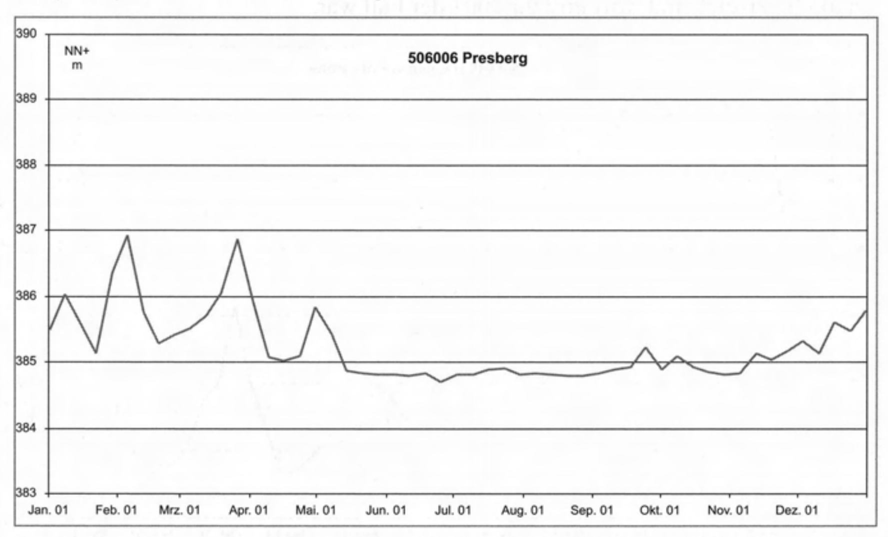


Abbildung 5: Wasserstandsganglinie 2001 der Grundwassermessstelle 506006 Presberg.

Der Grundwasserspiegelgang der relativ flachen Messstelle 506006 (Abbildung 5) ähnelt noch am stärksten zumindest in der ersten Jahreshälfte dem Hydrographen des Pegels Lorch-Pfaffental, obwohl dieser etwa 3 km weiter im W liegt. Der niedrigste Grundwasserstand wurde etwa einen Monat vor dem Tiefststand am Pegel registriert, was damit zusammenhängt, dass sommerliche Niederschlagsereignisse nur unwesentlich oder überhaupt nicht zur Grundwasserneubildung beitragen. Nur mehrtägige und ergiebige Regenfälle machen sich im Ganglinienverlauf kurzzeitig bemerkbar (September 2001 mit unüblich sehr hohen Niederschlägen). Erst die ab November bei merklich abgekühlten Temperaturen und nur noch schwacher Pflanzenverdunstung fallenden Niederschläge führten zu einer merklichen Auffüllung des Grundwasserspeichers. Die im Jahr 2001 gemessene Differenz von höchstem und niedrigstem Grundwasserstand von 2,4 m war etwas geringer als im langjährigen Durchschnitt von 3,1 m (1950/98). Diese für Taunus-Verhältnisse relativ kleine Amplitude der maximalen jährlichen Grundwasserstandsschwankung hat vermutlich zwei Gründe: einerseits wird ein Anstieg des Grundwassers gekappt, weil die Differenz zwischen Grundwas-

seroberfläche und Geländeoberfläche, der so genannte Flurabstand, nur gering ist – z.B. war der kleinste Flurabstand im Jahr 2001 nur 0,7 m –, andererseits wirkt sich die relative Nähe zum Grolochbach, des in der Nähe des Pegels in die Wisper einmündenden lokalen Vorfluters, dämpfend auf den Grundwasserspiegelgang aus, weil der Wasserspiegel im oberirdischen Gewässer auch für das hydrodynamisch mit ihm verbundene Grundwasser dessen Niedrigstände vorgibt. Der sich in einer geringen Amplitude der Grundwasserganglinie zeigende stabilisierende Effekt eines oberirdischen Gewässers ist am ausgeprägtesten, wenn die jeweiligen Tiefststände im oberirdischen Gewässer und im Grundwasserleiter zeitlich versetzt sind, was im Jahr 2001 der Fall war.

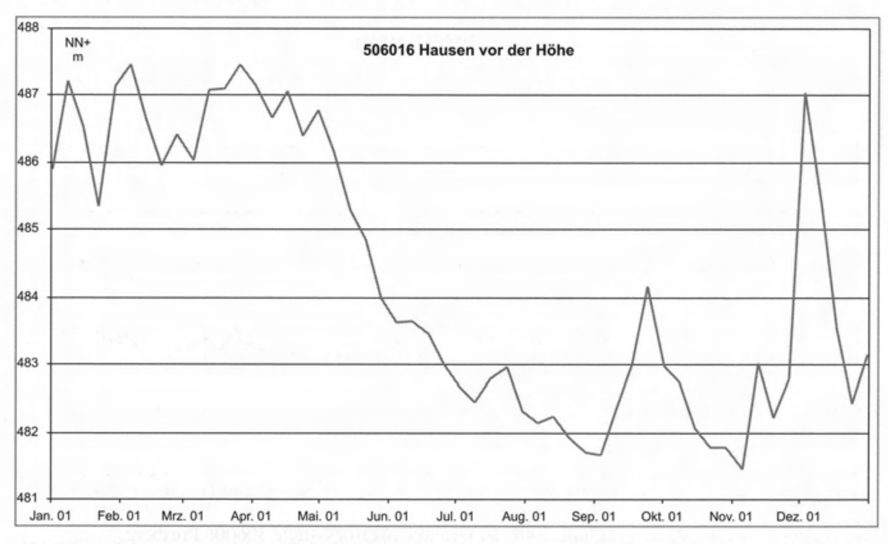


Abbildung 6: Wasserstandsganglinie 2001 der Grundwassermessstelle 506016 Hausen vor der Höhe.

Charakteristischerweise sind im Falle der drei anderen Grundwassermessstellen im Einzugsgebiet der Wisper, die nicht sehr weit weg von der Wasserscheide zwischen Wisper und Aar liegen, die Amplituden der Grundwasserstandsschwankung wesentlich größer; im Jahr 2001 wurden bei Messstellen, die nicht tiefer als 10 m sind, Größenordnungen bis zu 6,9 m beobachtet (Abbildungen 6, 7, 8). Im Umfeld einer oberirdischen Wasserscheide, die lagemäßig nicht unbedingt deckungsgleich mit der unterirdischen Wasserscheide sein muss, fallen die meisten Niederschläge, was somit bei vergleichbaren geologischen/hydrogeologischen Verhältnissen und ähnlicher Landnutzung eine höhere Grundwasserneubildung zur Folge hat als anderswo. Diese bewirkt im Bereich der Wasserscheide vornehmlich eine Grundwasserspeicherung, die mit einem vom nutzbaren Hohlraumvolumen des Speichergesteins abhängigen Grundwasserspiegelanstieg verbunden ist, und geht weniger in den Grundwasserabfluss ein, dessen Größenordnung u.a. eine Abhängigkeit vom in den Höhenlagen noch relativ geringen Fließgefälle zeigt. Je länger die in einer Messstelle stehende Wassersäule ist, desto stär-

ker werden die Wasserspiegelschwankungen gedämpft, weil tiefere Horizonte eines Grundwasserkörpers nicht so spontan auf witterungsabhängige Einflüsse reagieren wie das oberflächennahe Grundwasser. Das zeigt sich im Fall der 20,00 m tiefen Messstelle 506019 mit einer Amplitude von nur 2,2 m, obwohl der kleinste Flurabstand im Jahr 2001 rd. 2,8 m betrug.

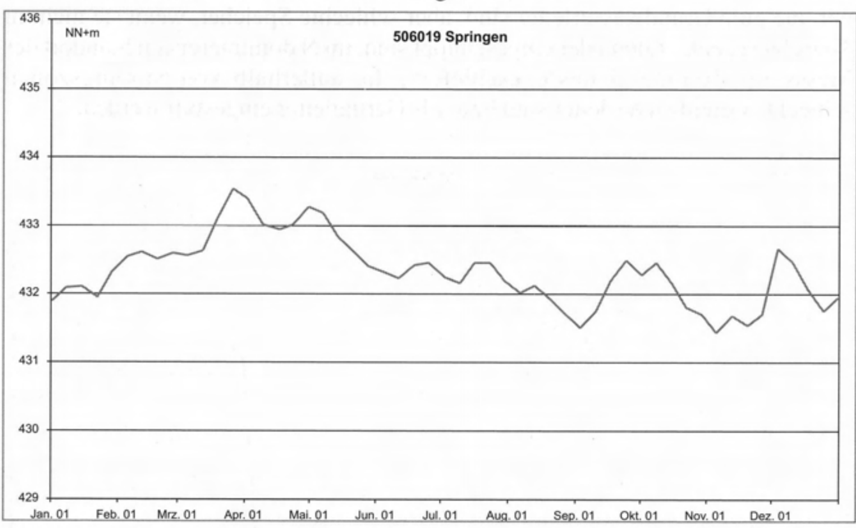


Abbildung 7: Wasserstandsganglinie 2001 der Grundwassermessstelle 506019 Springen.

Es ist auffällig, dass bei allen Messstellen im Jahr 2001 die Differenz zwischen höchstem (HW) und niedrigstem Grundwasserstand (NW) signifikant kleiner war als im langjährigen Durchschnitt. Beispielsweise hatte im Falle der Messstelle 506016, die von allen Messstellen die größte Differenz zwischen HW und NW aufweist, die Amplitude im Jahr 2001 eine Größenordnung von 6,9 m, im Zeitraum 1950/97 im Mittel jedoch von 10,2 m. Die Gründe für die Abweichung gegenüber dem langjährigen Durchschnittsjahr sind, dass einerseits im vorausgehenden Jahr 2000 die Grundwasserspeicher nicht so aufgefüllt wurden wie üblich und andererseits im überdurchschnittlich nassen Jahr 2001 (vor allem in den Monaten März und September fiel außergewöhnlich viel Niederschlag) sich die Grundwasserspeicher nicht in dem Maße entleerten wie sonst in den Sommermonaten.

Die Ganglinien der Messstellen 506016 und 506022 ähnelten sich in der ersten Jahreshälfte 2001 sehr. Niederschlagsereignisse oder Schneeschmelzprozesse machten sich ohne große zeitliche Verzögerung bemerkbar. Das bis Anfang September 2001 stattfindende, durch gelegentliche längere Regenfälle modifizierte Absinken der Grundwasserspiegel hatte größere Ausmaße als im Falle der Messstelle 506006. Die starken Niederschläge im September und November machten sich bei beiden Messstellen in einer deutlichen Aufspiegelung bemerkbar, wegen

regional unterschiedlicher Randbedingungen, die vermutlich in erster Linie geologisch begründet sind, waren die Schnelligkeit des Anstiegs und das Muster der beiden resultierenden Ganglinien-Peaks jedoch unterschiedlich. Im südlichen Einzugsgebiet der Wisper, zu dem auch der Standort der Messstelle 506016 gehört, herrschen in Annäherung an den Taunuskamm Sandsteine und Quarzite vor, die gute Grundwasserleiter sind, aber schlechte Speicher, wenn sie nicht in Tonschiefer eingefaltet oder eingeschuppt sind, im N dominieren am Standort der Messstelle 506022 „Hunsrückschiefer", die außerhalb von Störungszonen schlechte Grundwasserleiter sind bzw. als Geringleiter eingestuft werden.

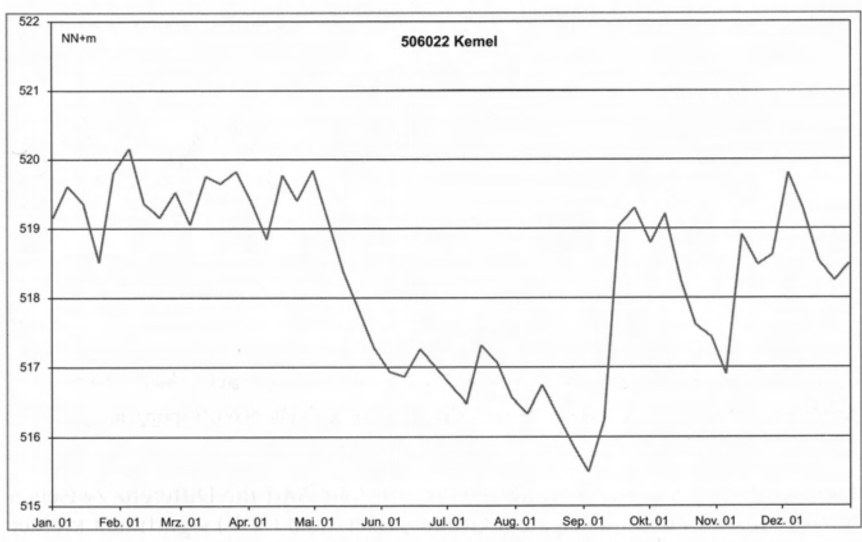


Abbildung 8: Wasserstandsganglinie 2001 der Grundwassermessstelle 506022 Kemel.

Weil die Messstelle 506019 mit 20,00 m die tiefste ist und somit auch tiefere Abschnitte des Grundwasserleiters erschließt, kommt es nicht nur zu einer bereits angesprochenen Dämpfung der Ganglinienamplitude, sondern in der ersten Jahreshälfte 2001 auch zu einer Verschiebung der Grundwasserhochstände um etwa sechs Wochen. Wegen der Nachbarschaft der beiden Messstellen 506019 und 506022 und der deshalb vermuteten Vergleichbarkeit der sich auf den Grundwasserspiegelgang auswirkenden Geofaktoren ist in der zweiten Jahreshälfte die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände ähnlich, d.h. Anstieg ab Anfang September mit zwei typischen Peaks.

Bei allen Unterschieden im Detail zeigen die Grundwasserspiegelgänge der im Einzugsgebiet der Wisper gelegenen Messstellen 506006, 506016, 506019 und 506022 insgesamt ein ähnliches Grundmuster. Davon weicht das für die Messstelle 506021 geltende deutlich ab, die überregionale Witterung des Jahres 2001 spiegelt sich aber auch in dieser Ganglinie wider (Abbildung 9). Auffällig ist

zunächst die geringe Differenz von 0,6 m zwischen Grundwasserhöchst- und -tiefsständen des Jahres 2001, vor allem auch deswegen, weil die Amplitude der Ganglinie im langjährigen Mittel (1960/95) mit 7,9 m erheblich größer ist. Ins Auge fällt ferner der schmale Peak Mitte Juni und die wenig gegliederten beiden breiten Peaks im September/Oktober und November/Dezember.

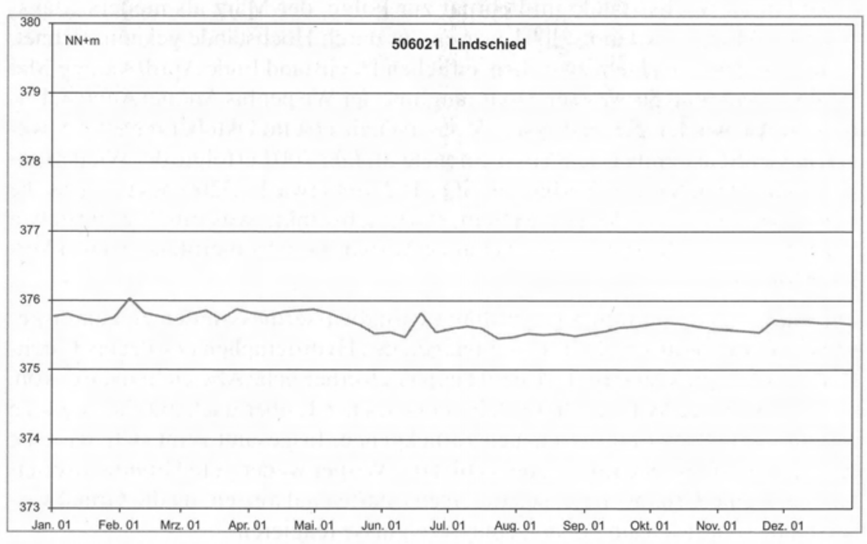


Abbildung 9: Wasserstandsganglinie 2001 der Grundwassermessstelle 506021 Lindschied.

Die insgesamt sehr geringe Schwankung der Grundwasserstände zwischen 375,47 m ü. NN und 376,04 m ü. NN geht nicht nur auf die geringeren Niederschläge im Aartal, das im Bereich von Bad Schwalbach im Lee der Kalten Herberge liegt, zurück, sondern offenbar auch auf ein etwas anderes Niederschlagsmuster (siehe Abbildung 3). Die geologischen bzw. hydrogeologischen Verhältnisse am Standort der Messstelle im Zentrum von Lindschied und somit rd. 1 km westlich der Aar sind nämlich nicht grundsätzlich von denjenigen im nördlichen Bereich des Einzugsgebietes der Wisper verschieden.

5 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beleuchtet bezogen auf das Jahr 2001 die Zusammenhänge zwischen Witterung und hydrologischen Verhältnissen im Einzugsgebiet der Wisper unter Berücksichtigung der wesentlichen Geofaktoren Niederschlag, Hydrogeologie und Morphologie sowie der Landnutzung.

Das Jahr 2001 war mit ca. 15 - 25 % mehr Niederschlag überdurchschnittlich nass und um ca. 1 °C wärmer als langjährig üblich. Das bedeutet im Hinblick auf die

Wasserstandsganglinie der Wisper am Pegel Lorch-Pfaffental, dass nicht nur die für den mitteleuropäischen Klimaraum charakteristischen Hochstände im Winterhalbjahr und Niedrigwasserstände in den Sommer- und Frühherbstmonaten widergespiegelt wurden, sondern auch witterungsbedingte Besonderheiten des Jahres 2001. Ergiebige Niederschläge und Schneeschmelzen im Januar und Februar hatten Höchststände im Februar zur Folge, der März als niederschlagsreichster Monat des Jahres 2001 war erneut durch Hochstände gekennzeichnet. Unterbrochen von einem zwischenzeitlichen Hochstand Ende April/Anfang Mai erfolgte ein Abfall der Wasserstandsganglinie der Wisper bis Anfang August. Üblicherweise werden die niedrigsten Wasserstände erst im Oktober registriert, wegen nasser Spätsommer- und Herbstmonate im Jahr 2001 erfolgte der Wiederanstieg jedoch früher. Das Verhältnis NQ / HQ von etwa 1 : 3200 besagt, dass die Wasserführung der Wisper extrem stark schwankt, was im Wesentlichen hydrogeologisch begründet ist, aber auch Auswirkung der morphologischen Verhältnisse ist.

Die Ganglinien von fünf ausgewählten Grundwassermessstellen zeigen insgesamt ein Grundmuster, das mit demjenigen des Hydrographen des Pegels Lorch-Pfaffental vergleichbar ist. Lokal gibt es jedoch erhebliche Abweichungen davon, die überwiegend hydrogeologisch bedingt sind, z.T. aber auch auf das regional differierende Witterungsgeschehen zurückgehen. Insgesamt zeigt sich, dass die devonischen Gesteine im Einzugsgebiet der Wisper weder gute Grundwasserleiter- noch gute Grundwasserspeichereigenschaften aufweisen, da die Grundwasserstände sehr rasch auf Niederschlagsereignisse reagieren.

6 Literatur

EHMKE, W. (2002): Die Witterung des Jahres 2001 in Westhessen.- Jb. nass. Ver. Naturkde., **123**: 139-147, Wiesbaden.

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Gewässerkundliche Unterlagen.

MATTHESS, G. & UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt.- Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. **1**: 438 S., Berlin, Stuttgart (Borntraeger).

THEWS, J.-D. (1996): Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte von Hessen 1:300000 (GÜK 300 Hessen). - Geol. Abh. Hessen **96**: 236 S., Wiesbaden.

TOUSSAINT, B. (2001): Der staatliche Grundwasserdienst in Hessen. - Jb. Nass. Ver. Naturkde. **122**: 115-137, Wiesbaden.

TOUSSAINT, B. & SALAY, G. (1979): Methodische Untersuchungen zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. - Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. **61**: 193-249, Stuttgart.

PROF. DR. BENEDIKT TOUSSAINT
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden
e-mail: b.toussaint@hlug.de

Manuskripteingang: 03.07.2002